

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Tavící pánev

Melting Crucible

Student:

Jaroslav Kočica

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Jaroslav Kočica**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení
Téma: **Tavicí pánve
Melting Crucible**

Zásady pro vypracování:

Pro potřebu laboratoří VŠB-TUO navrhnete vodou chlazenou tavicí pánve pro plazmové tavení neželezných kovů (např. Ti). Max. příkon zdroje pro závislý plazmový oblouk předpokládejte na úrovni cca 60 kW. Pozornost věnujte zejména návrhu chlazení a způsobu nakládání pánve.

Proved'te :

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a hrubá stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci pánve se zařízením pro její nakládání.

Rozsah výtahu z rešerše z Bakalářského projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 1A0

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.*

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.*

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka.*

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.

FS_SME_05_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Bakalářského projektu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2013



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́jednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́jednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19. 5. 2013

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jaroslav Kočica

Adresa trvalého pobytu autora práce:

763 13, Jasenná, 268

PODĚKOVÁNÍ

Za cenné, odborné rady a připomínky děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, kterým byl Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Dále bych rád poděkoval za odborné konzultace a jejich čas:

v oblasti MKP Ing. Richardu Klučkovi

a ohledně způsobu výroby chladících kanálů panu Miroslavu Hlavičkovi.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOČICA, Jaroslav. *Tavící pánev: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013. Vedoucí práce: Ing. Noga Zdeněk, CSc.

Bakalářská práce řeší návrh způsobu chlazení, natáčení a těsnění pánve pro tavení titanu plazmovým obloukem. Na stručný výťah z literární rešerše navazuje upřesnění požadavkového listu. V další části je na základě požadavkového listu, seznamu funkcí a morfologické matice vybrán koncept. Koncept je dále rozpracován do hrubé a čisté stavební struktury. Kontrola řešení je provedena pomocí MKP. V příložené výkresové dokumentaci je zpracován celkový konstrukční návrh zařízení včetně výrobních výkresů komponent.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KOČICA, Jaroslav. *Melting crucible: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava. Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2013. Thesis head: Ing. Noga Zdeněk, CSc.

The content of this work is to propose the method of chilling, shooting seals and pans for melting titanium plasma arc. First part of literary research brief synopsis follows specification of the list of requests. The concept is chosen in the next thesis section on the basis of the list of requests, functions and morphological matrix. The concept is further developed into row and clear building structure. Solution control is performed by FEM. The overall structural device design including component manufacturing drawings is attached in drawings documentation.

Obsah

ÚVOD.....	7
1. ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU	7
2. VÝTAH Z LITERÁRNÍ REŠERŠE	8
2.1 PLAZMA	8
2.2 CHLADÍCÍ MÉDIUM.....	8
2.3 VODA.....	8
2.4 TITAN	9
2.5 MĚĎ.....	9
2.6 SERVOPOHONY	10
2.7 ŘÍZENÍ SERVOPOHONU	10
2.8 BLÍZKÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	11
2.8.1 Pánev NASA.....	11
2.8.2 Řez chladicí sekce	11
2.8.3 Princip zařízení.....	12
2.8.4 Patent EP0128600 B1 - kelímek na tavení a krystalizace anorganických nekovových sloučenin	12
3. SEZNAM POŽADAVKŮ.....	13
3.1 POŽADAVKOVÝ LIST	13
3.2 SEZNAM FUNKCÍ	14
3.3 TRANSFORMAČNÍ PROCES	14
3.4 MODEL TRANSFORMAČNÍHO PROCESU	14
4. FUNKČNÍ STRUKTURA.....	15
4.1 BLOKOVÉ SCHEMA.....	15
4.2 HIERARCHICKÝ FUNKČNÍ STROM	15
5. MORFOLOGICKÁ MATICE	16
5.1 ORGÁNOVÁ STRUKTURA	17
5.1.1 Zhodnocení vybraných variant	18
6. HRUBÁ STAVEBNÍ STRUKTURA	18
7. POROVNÁNÍ TEPELNÝCH BILANCÍ PLAZMOVÝCH PECÍ.....	19

7.1	ODVOD TEPELNÉ ENERGIE V PŘÍPADĚ POUŽITÍ CHLAZENÉ PÁNVE	20
8.	VÝPOČTOVÁ ČÁST	21
8.1	ZÁKLADNÍ BILANČNÍ ROVNICE	21
	<i>VÝPOČET TEPLOTNÍHO ROZDÍLU VODY NA VSTUPU A VÝSTUPU</i>	<i>22</i>
	<i>VÝPOČET TEPLoty CHLADÍCÍ VODY NA VÝSTUPU</i>	<i>23</i>
	<i>HYDRAULICKÝ PRŮMĚR CHLADÍCÍHO KANÁLKU PÁNVE</i>	<i>23</i>
	<i>REYNOLDSOVO KRITÉRIUM PRO PROUDĚNÍ VODY V CHLADÍCÍM KANÁLKU PÁNVE</i>	<i>24</i>
	<i>PRANDTLOVO KRITÉRIUM [10]</i>	<i>24</i>
	<i>VÝPOČET SOUČiniteLE PŘESTUPU TEPLA MEZI POVRCHEM KANÁLŮ A CHLADÍCÍ VODY</i>	<i>24</i>
	<i>URČENÍ TEPLosMĚNNÉ PLOCHY</i>	<i>25</i>
	<i>STŘEDNÍ LOGARITMICKÝ ROZDÍL TEPLot [9]</i>	<i>25</i>
	<i>KONTROLA VELIKOSTI TEPLosMĚNNÝCH PLOCH</i>	<i>26</i>
	<i>VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT TŘENÍM [12]</i>	<i>26</i>
9.	VOLBA POHONU	27
10.	MODEL Y 3D	27
10.1	MODEL MĚDĚNÉ PÁNVE	27
10.2	MODEL VRTANÝCH KANÁLŮ	28
10.3	MODEL TRAJEKTORIE KANÁLU SE ZÁTKAMI	28
11.	ČISTÁ STAVEBNÍ STRUKTURA	29
12.	TECHNICKÝ POPIS PRÁCE NAVRŽENÉHO TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ	
	31	
12.1	PÁNEV	31
12.2	PŘÍVOD CHLADÍCÍHO MÉDIA	31
12.3	ULOŽENÍ VE STĚNĚ PECE	31
12.4	NAKLÁPĚNÍ PÁNVE	31
13.	ZÁVĚR	32
	SEZNAM LITERATURY	33
	INTERNETOVÉ ZDROJE	33
	ZDROJE OBRÁZKŮ	34
14.	PŘÍLOHY	35
14.1	VÝSLEDKY METODY MKP POMOCÍ PROGRAMU ANSYS 14.0	35

14.2	ROZMĚRY MOTORU	36
15.	TABULKY.....	36
15.1	TEPELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY VODY	36
15.2	TEPELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY MĚDI	37
15.3	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	37

Seznam použitých značek a symbolů:

L_k	délka kanálu v rukojeti a pánvi	[m]
P	tepelný výkon, $P=13800\text{W}$	[W]
Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
Nu	Nusseltovo kritérium	[-]
S	průřez chladicího kanálu	[m ²]
S_k	plocha kanálu	[m ²]
S_v	průřez chladicího kanálku pánve	[mm ²]
S_{kAs}	skutečná teplosměnná plocha kanálů dna pánve	[m ²]
S_k	plocha kanálu	[m ²]
T_{s2}	teplota stěny v chladicím kanále	[K]
cp_{H_2O}	měrná tepelná kapacita za stejného tlaku	[J.kg ⁻¹ .K]
d	průměr kanálu	[m]
d_h	hydraulický průměr chladicího kanálku pánve	[m]
k	koeficient drsnosti pro potrubí	[mm]
l_k	délka kanálku pánve	[m]
\dot{m}	hmotnostní tok vody	[kg.s ⁻¹]
r	poloměr kanálu	[m]
w	rychlost proudění vody	[m.s ⁻¹]
$\Delta T_{stř}$	střední logaritmický rozdíl teplot (voda-povrch kanálu)	[K]
Δp_{ztr}	tlakové ztráty třením	[Pa]
Δt_{H_2O}	rozdíl teplot na vstupu a výstupu	[°C]
α_{v40}	součinitel teplotní vodivosti vody při teplotě 40°C	[m ⁻² s ⁻¹]
η_{v20}	dynamická viskozita vody při teplotě 20°C	[Pas]

λ	třecí součinitel	[-]
ν_{v40}	kinematická viskozita vody při teplotě 40°C	[m ² s ⁻¹]
ρ_{H_2O}	hustota vody	[kg.m ⁻³]
ρ_{v20}	měrná hmotnost vody při teplotě 20°C	[kg.m ⁻³]

ÚVOD

Tavící pánev je součástí plazmové pece, tedy pro tavbu za vysokých teplot. Plazmové pece se využívají v plazmové metalurgii z důvodu možnosti vyrábět materiály o vysoké čistotě a teplotě tavení. Tyto materiály jako například titan, tak získávají rafinací nové vlastnosti a mohou být využity v lékařství, kosmonautice leteckém i automobilovém průmyslu.

Tavící pánev je určena pro laboratorní tavení materiálu. Pánev musí být chlazena tak, aby nedošlo k překročení teploty, kdy by materiál pánve mohl znečistit tavený materiál. Je požadováno, aby byla zajištěna možnost pánve naklápět a tím mohlo dojít k vylití taveniny.

1. ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

V současné době je v oblasti výzkumu Ti slitin využíváno několik zařízení podobného principu např. indukční, obloukové nebo elektronové pece. Malé laboratorní plazmové pece, které se také pro tavbu Ti slitin využívají, jsou osazeny plazmovým hořákem, krystalizátorem a odtahem. Pro tavení a rafinaci by bylo vhodné využít měděnou chlazenou pánev, která by tyto procesy umožnila. Nicméně v současné době se taková zařízení příliš nevyskytují. Nejbližší řešení, nabízí kruhová pánev vyvinutá pro účely NASA.

2. VÝTAH Z LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Plazma

Za plazma považujeme čtvrté skupenství látky v řadě: tuhá látka – kapalina – plyn – plazma. Známá je definice Seelingerova: „Za plazma považujeme směs elektronů a iontů, která může být a většinou i je rozprostřena uvnitř plynu z neutrálních částic. Jako celek musí být plazma v neustáleném stavu neutrální“. R.Engel charakterizuje plazma jako ionizovaný plynný systém se stejnou koncentrací kladných a záporných nábojů. Na rozdíl od plynů je plazma elektricky vodivá, má velkou tepelnou kapacitu a vodivost. Podléhá účinkům elektrického a magnetického pole. V metalurgii se uvažuje především tzv. nízkoteplotní plazma, tj. systém skládající se ze směsi neutrálních částic s převládajícím počtem elektronů a kladných iontů s teplotami řádu 10^3 až 10^4 K. Za teplotu zcela ionizovaného plazmatu je možno považovat teplotu 10^5 K. [1]

2.2 Chladicí médium

Nejpoužívanějším chladicím médiem je voda. Její vysoká tepelná kapacita a nízká cena z ní činí vhodné teplotnosné médium. Obvykle se do ní přidávají aditiva, například inhibitory koroze nebo nemrznoucí látky. [14]

Nemrznoucí kapalina, roztok vhodné chemikálie ve vodě (nejčastěji ethylenglykolu, diethylenglykolu nebo propylenglykolu), se využívá v případech, kdy je potřeba pracovat při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo pokud je třeba zvýšit teplotu varu. [14]

2.3 Voda

Měrná tepelná kapacita (specifické teplo) je u vody třikrát větší než u většiny ostatních látek, jako jsou horniny, železo, hliník, atd. Proto má voda svou tepelnou setrvačností velký klimatický vliv a s výhodou se používá k transportu tepla (např. ústřední topení). [12]

Výhody použití vodního chlazení, jsou především v tepelné kapacitě vody. To znamená kolik tepla je voda schopna přijmout, než se ohřeje o 1°C . Oproti vzduchu má voda 5,8x vyšší tepelnou kapacitu. Tepelná vodivost vody je oproti vzduchu 23x větší.

2.4 Titan

Chemická značka Ti, (*lat. Titanium*) je šedý až stříbřitě bílý, lehký kov, poměrně hojně zastoupený v zemské kůře. Je poměrně tvrdý a mimořádně odolný proti korozi i ve slané vodě. Při teplotách pod 0,39 K se stává supravodičem. Jeho výrazně většímu technologickému uplatnění brání doposud vysoká cena výroby čistého kovu. Hlavní uplatnění nalézá jako složka různých slitin a protikorozních ochranných vrstev, ve formě chemických sloučenin slouží často jako složka barevných pigmentů. Přes své vysoké zastoupení v zemské kůře byl čistý kovový titan po dlouhou dobu velmi vzácným a drahým materiálem. Důvodem je skutečnost, že běžné hutní metody, které se využívají k výrobě jiných kovů, jsou v případě titanu neúčinné díky ochotě titanu reagovat za zvýšené teploty s kyslíkem, vodíkem, uhlíkem a dusíkem. V současné době se při průmyslové výrobě titanu používá především tzv. Krollův proces. Přitom se nejprve pyrolýzou ilmenitu nebo rutilu s uhlíkem a chlorem získává chlorid titaničitý TiCl_4 . Po přečištění se jeho páry redukuje hořčíkem v inertní argonové atmosféře při teplotě kolem 800°C. Titan vzniklý touto reakcí je tuhá, pórovitá látka, která se po odstranění chloridu hořečnatého a nezreagovaného hořčíku dále čistí. [15]

Titan a jeho slitiny jsou základním materiálem při výrobě skeletů nebo povrchových ochranných štítů kosmických objektů (družice, vesmírné sondy a vesmírné stanice). V leteckém průmyslu nacházejí využití při výrobě zvláště namáhaných součástí letadel, tedy především při konstrukci vojenských stíhacích letounů a dnes i při konstrukci komerčních dopravních letounů. V běžném každodenním životě se s titanem můžeme setkat například jako s materiálem pro výrobu luxusních náramkových hodinek nebo částí šperků. Titan se používá také na výrobu golfových holí nebo kvalitních sluchátek. [15]

2.5 Měď

Chemická značka Cu (*lat. Cuprum*) je ušlechtilý kovový prvek načervenalé barvy, používaný člověkem již od starověku. Vyznačuje se velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí, dobře se mechanicky zpracovává a je odolný proti atmosférické korozi. Je základní součástí řady velmi důležitých slitin a mimořádně důležitý pro elektrotechniku. [16]

2.6 Servopohony

Střídavé synchronní motory řady STR jsou ideální pro přímý pohon otáčivých zařízení, která vyžadují velkou přesnost a rychlost polohování. Použití momentového motoru oproti řešení s klasickým servomotorem a převodovkou, umožňuje přesnější a rychlejší řízení pohybu. Motory jsou vhodné pro měřicí stroje, obráběcí centra, otočné stoly nebo i pro zařízení vyžadující volný prostor pro kabeláž. Stator i rotor tvoří prstence s volným místem uprostřed. Prstenec rotoru tvoří vysoce výkonné permanentní magnety. Prstenec statoru tvoří 3 fázové vinutí s vestavěnou tepelnou ochrannou a případným vodním chlazením. Vinutí je zapojené do hvězdy a motor není ve standardní verzi osazen ložisky ani snímačem polohy. [13]



Obr.1 Servopohon firmy servodrive [1]

2.7 Řízení servopohonu

Řízení servopohonu, měření a regulaci teplot je možné zajistit pomocí PLC od firmy Hypel PP. Jedná se o vhodné řešení především pro střední aplikace, kde v sobě stanice zahrnují všechny řídicí i ovládací funkce. Využívány jsou především k řízení kotlen, vzduchotechnik, atd. Samostatná kompaktní stanice PP je sama o sobě již velmi komplexní prostředek automatizace, sdružující v sobě: řídicí mikropočítač, sadu periférií (dle typu), zobrazovací jednotku (displej), uživatelskou klávesnici. [17]



Obr.2 Logický automat firmy HYPEL [2]

2.8 Blízké konstrukční řešení

2.8.1 Pánev NASA

Kruhovou měděnou vodou chlazenou pánev využívá ve své laboratoři NASA



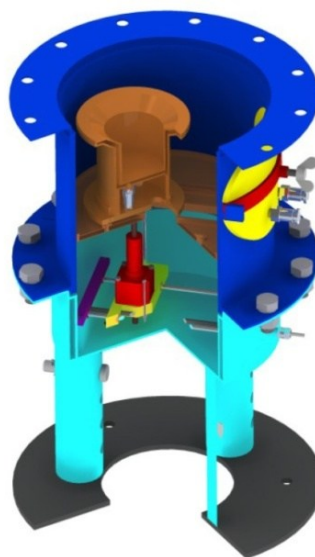
Obr.3 Pánev kruhová NASA [6]

2.8.2 Řez chladicí sekce

Blízké řešení uvádí i Jakub Kulháněk ve své bakalářské práci a to řez chladicí sekce a částečný řez pecí.



Řez chladicíh sekcí

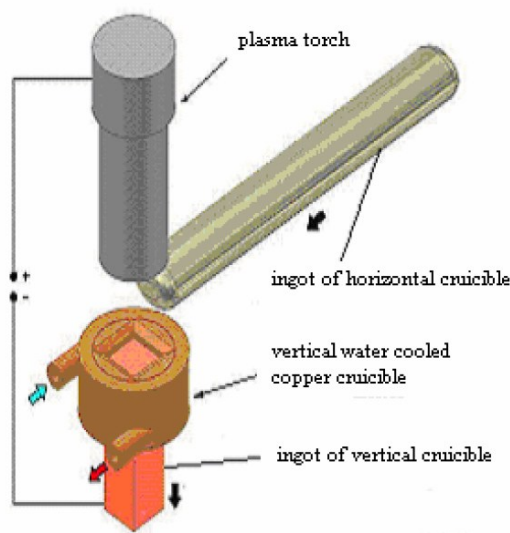


Částečný řez pecí

Obr.4 Řez chladicí sekce a částečný řez pecí [3]

2.8.3 Princip zařízení

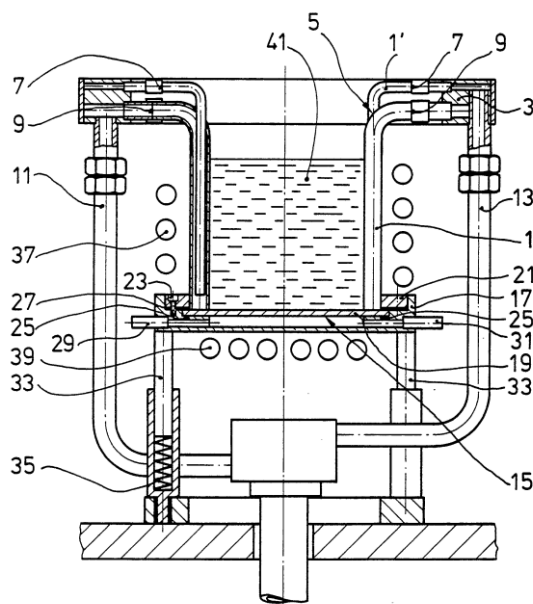
Na obrázku je patrný princip celého zařízení a také je zde možno vidět, blízké řešení studené pánve v části označené jako vertical water cooled copper crucible.



Obr.5 Princip zařízení s 60kW plazmovým hořákem[4]

2.8.4 Patent EP0128600 B1 - kelímek na tavení a krystalizaci anorganických nekovových sloučenin

Zařízení se skládá z chlazeného kelímku. Kovových trubek, pomocí kterých chladicí médium proudí. Dále zařízení zahrnuje indukční cívku, která obklopuje stěnu kelímku. indukční cívka 39,držák 17, 21,pružné podpěry 33,chladičí kanály 37



Obr.6 Chlazený kelímek na tavení a krystalizaci nekovových sloučenin[8]

3. SEZNAM POŽADAVKŮ

3.1 Požadavkový list

SPECIFIKACE POŽADAVKU	PODMÍNKA	PŘÁNÍ
*Chlazení:		
Účinné chlazení pánvičky	x	
Chladicí voda nesmí překročit bod varu	x	
Při výtoku nesmí voda překročit 40°C	x	
Regulace přítoku vody	x	
Kontrola teploty v chladicím kanále	x	
Připojení média pomocí rychlospojek	x	
zabránění oxidace chladicí soustavy		x
Maximální chladicí množství	x	
*Chladicí prostředí:		
Teplotní součinitel vody	x	
Chladicí účinky vody	x	
Teplota přivedené vody	x	
*Chlazené prostředí		
Teplotní součinitel mědi	x	
Teplotní roztažnost mědi	x	
*Odvětrání		
Zajištění atmosféry bez kyslíku	x	
*Manipulace		
Natáčení pánve o 180°	x	
Zajištění polohy pánve	x	
*Provoz		
Prostředí - laboratoř		x
Životnost - co nejvyšší		x
Údržba - minimální	x	
*Vzhled		
Uspokojivé tvary	x	
Rozměry dle dispozice laboratoře	x	
*Ergonomie		
Jednoduchá manipulace a ovládání	x	

Tab.1 Požadavkový list[5]

3.2 Seznam funkcí

- Zajistit chlazení
- Zajistit natáčení
- Zajistit přívod a odvod chladicího média
- Zajistit těsnost
- Zajistit kontrolu

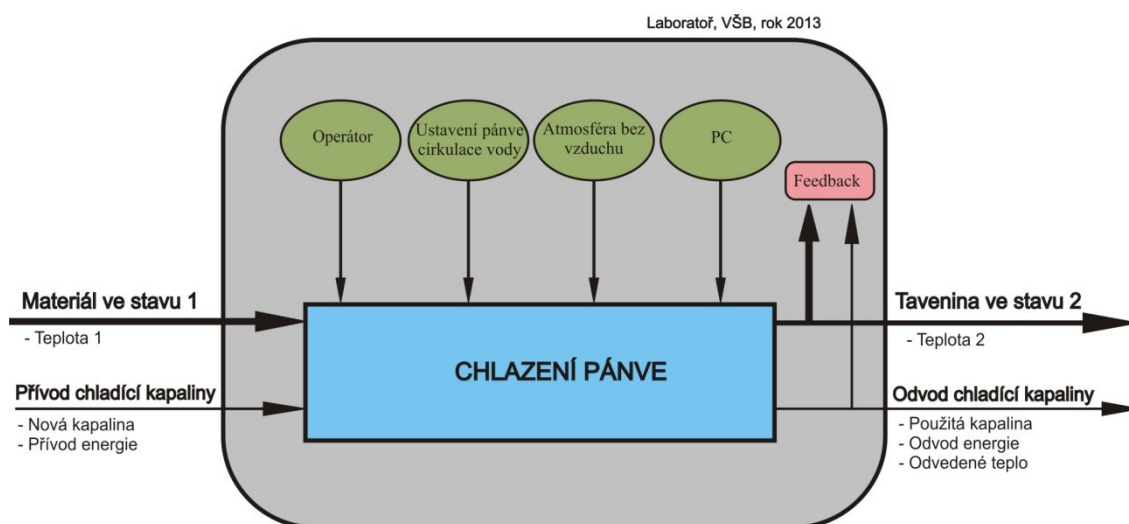
3.3 Transformační proces

Na obrázku je schema black box, které znázorňuje počáteční a koncový stav procesu transformace.



Obr.7 Černá skříňka[5]

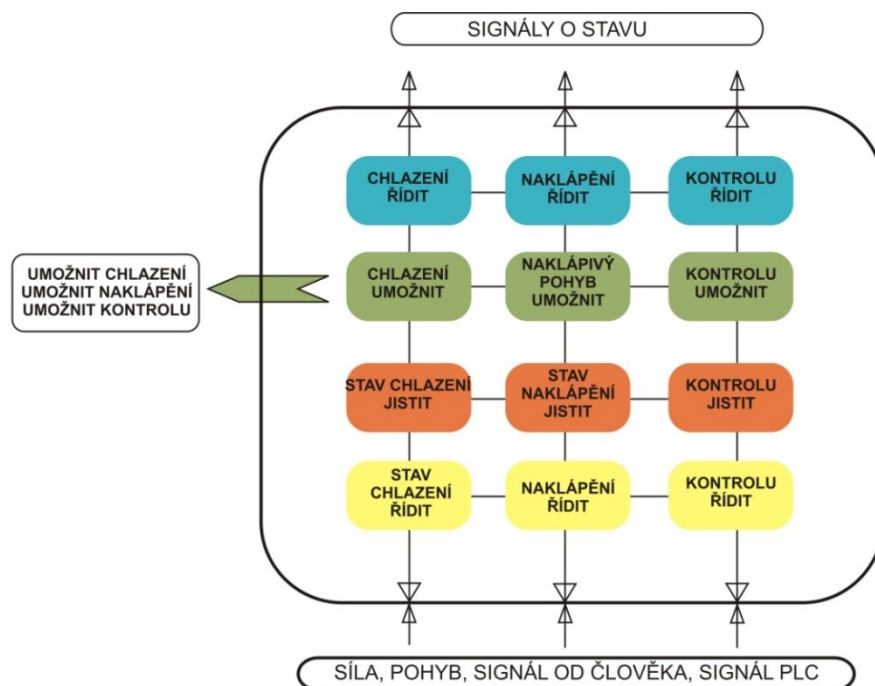
3.4 Model transformačního procesu



Obr.8 Model transformačního procesu chlazení [5]

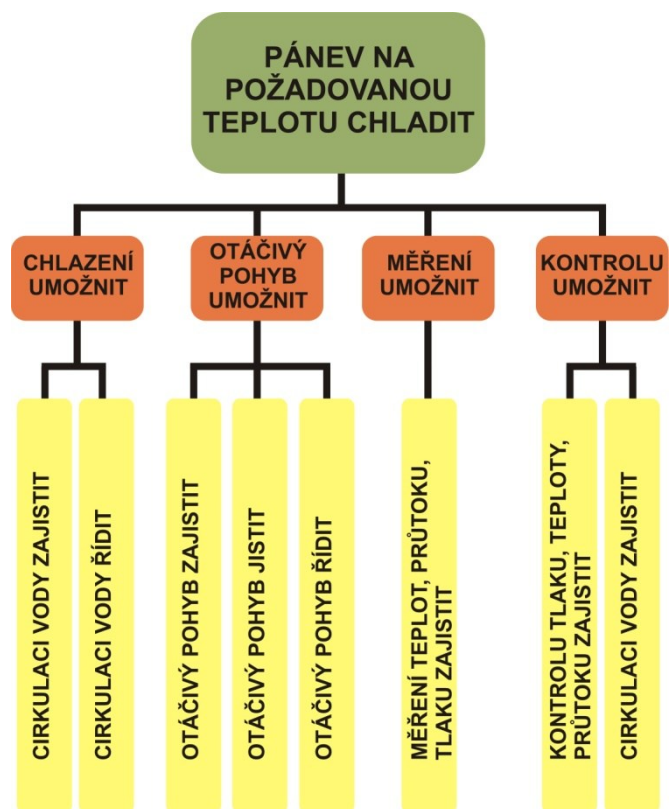
4. FUNKČNÍ STRUKTURA

4.1 Blokové schema



Obr.9 Blokové schema[5]

4.2 Hierarchický funkční strom



Obr.10 Hierarchický funkční strom [5]

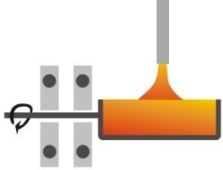
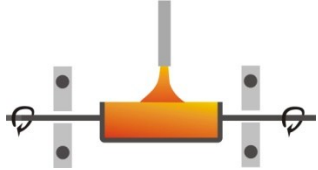


5. MORFOLOGICKÁ MATICE

Dílčí funkce		Orgány - nositelé funkcí			
		1.	2.	3.	4.
1.	Chlazení umožnit	Vodou	Vzduchem		
2.	Přívod chladicí vody umožnit	Trubkou	Hadicí	Tlakovou hadicí	
3.	Odvod chladicí vody umožnit	Trubkou	Hadicí	Tlakovou hadicí	
4.	Připojení vody umožnit	Šroubením	Rychlospojka		
5.	Přívod vody zajistit	Z vodovodu	Čerpadlem		
6.	Otáčení pánvičky zajistit	Ručně	Elektromotorem	Servopohonem	
7.	Kontrola tlaku vody měřit	Digitálním tlakoměrem	Ručičkovým tlakoměrem		
8.	Kontrolu teploty vody měřit	Digitálním teploměrem	Infra teploměrem	Dilatačním teploměrem	
9.	Kontrolu průtoku kapaliny měřit	Indukčním průtokoměrem	Vrtulovým průtokoměrem		
10.	Seřízení průtoku vody zajistit	Ventilem	Kohoutem		
11.	Řízení naklápění	Ručně	PLC		
12.	Provedení chladicího kanálu	Frézováním	Vrtáním	Vytavitelný model	
13.	Uchycení pánve	Průchozí uchycení	Letmé uchycení		

Tab.2 Morfologická matice[5]

5.1 Orgánová struktura

Bodový systém body 1 až 5 (1 nejmenší počet bodů, 5. nejvyšší počet bodů). Čím vyšší bodový součet, tím vhodnější varianta.

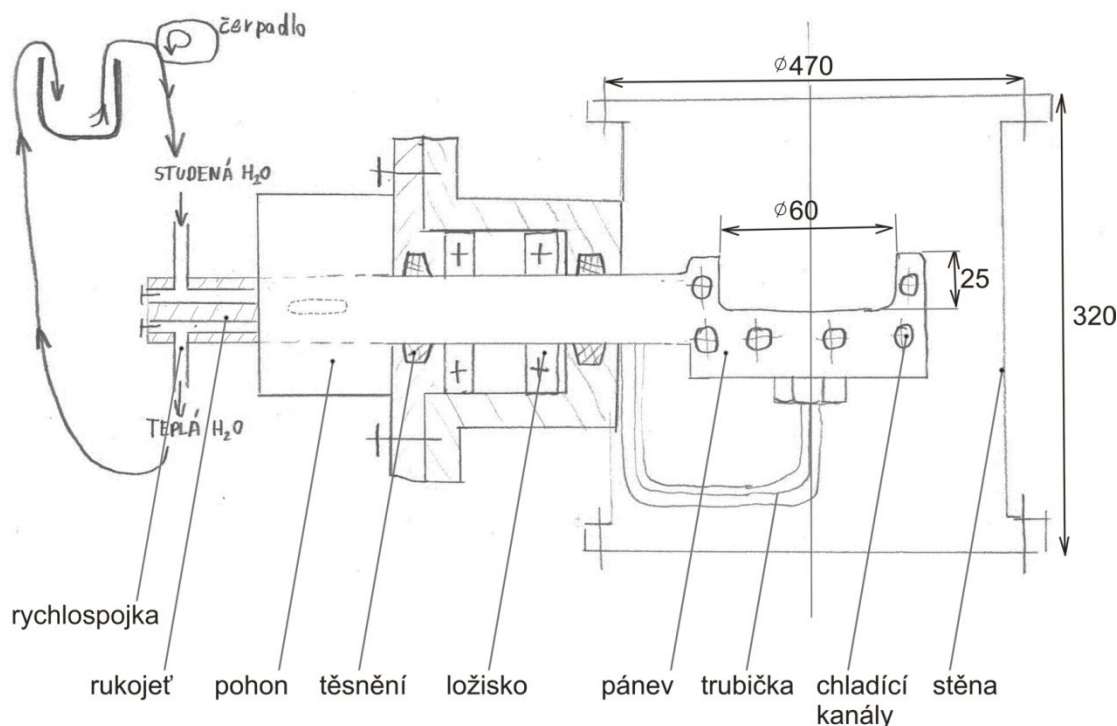
	BODY	
	1.varianta letmé uchycení	2.varianta průchozí uchycení
Schema varianty		
Schema způsobu chlazení		
Chlazení umožnit	5	2
Přívod chladicí vody umožnit	4	3
Odvod chladicí vody umožnit	4	3
Připojení vody umožnit	4	3
Přívod vody zajistit	4	2
Otáčení pánvičky zajistit	5	2
Kontrola tlaku vody měřit	4	3
Kontrolu teploty vody měřit	4	3
Kontrolu průtoku kapaliny měřit	4	3
Seřízení průtoku vody zajistit	4	3
Řízení naklápění	5	2
Provedení chladicího kanálu	5	1
Uchycení pánve	4	3
Bodový součet	56	33

Tab.3 Orgánová struktura[5]

5.1.1 Zhodnocení vybraných variant

Na základě bodového ohodnocení volím variantu č.1. Tato varianta je vybrána s ohledem na ekonomickou dostupnost v poměru s předpokládaným dobrým výkonem. Chlazení pánve čtvercové spirálové. Tento typ vychází vhodněji především z důvodu jednodušší výroby a možnosti zajištění 100% těsnosti proti únikům vody. Variantu č.2 by bylo nutné vyrábět frézováním a pánve by musela být složena ze dvou částí, které by bylo obtížné těsnit.

6. HRUBÁ STAVEBNÍ STRUKTURA

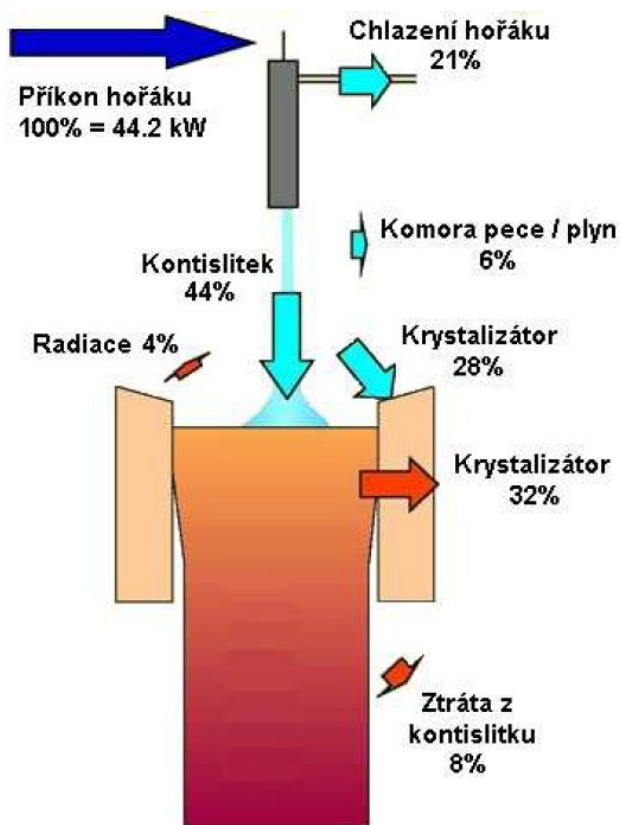


Obr.11 Náčrt hrubé stavební struktury [5]

7. POROVNÁNÍ TEPELNÝCH BILANCÍ PLAZMOVÝCH PECÍ

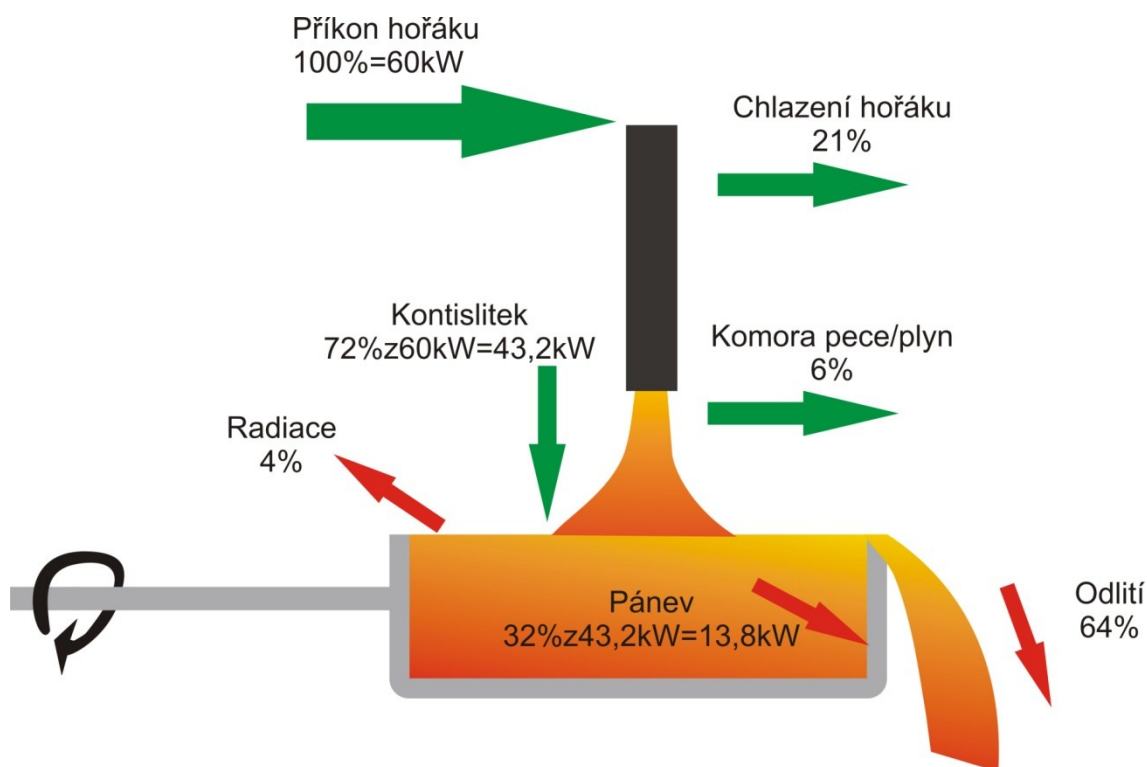
Příkon hořáku	Katoda (hořák)		Plášť pece		Anoda		Podstava a dolní prstenec		Střední prstenec		Horní dva prstence		Víko	
kW	kW	%	kW	%	kW	%	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$	kW	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$
48,2	1,3	2,7	1,7	3,6	26,2	54,8	4,5	6,8	2,9	12,1	5,8	12,1	5,4	17,0
43,0	1,6	3,6	2,0	4,7	25,8	60,5	3,2	4,8	2,1	8,9	4,2	8,8	3,8	11,9
14,2	0,8	5,7	1,3	9,2	8,2	58,2	0,7	1,1	0,5	2,1	1,3	2,7	1,3	4,1

Tab.4 Výsledky kalorimetrického měření plazmové pece s plazmovým obloukem stabilizovaným argonem o průtoku $15 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ [8]



Obr.12 Schema odvodu tepelné energie během odlévání kontislitku o průměru 125mm ze slitiny INCONEL 718 [8]

7.1 Odvod tepelné energie v případě použití chlazené pánve



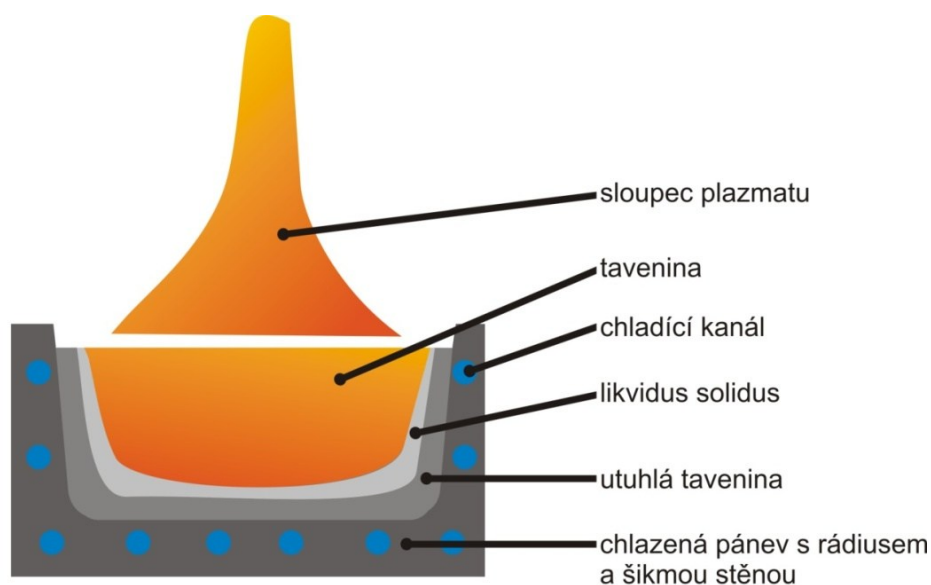
Obr.13 Schema odvodu tepelné energie při použití pánve

Na základě podobnosti odvodu tepelné energie během odlévání kontislitku v obr. 12. volím předpoklad tepelné bilance pro případ použití chlazené pánve v obr. č 13. Předpokládám tedy, že největší zatížení pánve dosáhne **P=13800 W**. Jde o maximální teplotní zatížení, které je nutné chlazením pánve odvádět. Předpokládám, že vždy dojde k vylití taveniny. Dále ve výpočtu bude uvažováno pouze s přestupem tepla z taveniny.

Teplota tání čistého titanu 1668 °C (při atmosférickém tlaku)

Teplota varu čistého titanu 3 287 °C (při atmosférickém tlaku) [13]

8. VÝPOČTOVÁ ČÁST



Obr.14 Schema při průběhu tavení

8.1 Základní bilanční rovnice

Tepelný výkon odvedený funkční stěnou pánve lze vyjádřit upraveným vztahem z literatury [8]:

$$P = \dot{m} \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta t_{H_2O} \quad [W] \quad (1)$$

P	tepelný výkon, $P=13800W$	$[W]$
\dot{m}	hmotnostní tok vody	$[kg \cdot s^{-1}]$
$c_{p_{H_2O}}$	měrná tepelná kapacita za stejného tlaku	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K]$
Δt_{H_2O}	rozdíl teplot na vstupu a výstupu	$[^{\circ}C]$

Dále při výpočtu budu z bilanční rovnice vycházet. Neznámé hodnoty z bilanční rovnice jsou vyjádřeny obecnými vztahy (2), (3). A postupně budou využity pro výpočet dalších hodnot.

Hmotnostní tok vody [10]

$$\dot{m} = w \cdot S \cdot \rho_{H_2O} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (2)$$

w	rychlost proudění vody	$[m \cdot s^{-1}]$
S	průřez chladicího kanálu	$[m^2]$
ρ_{H_2O}	hustota vody	$[kg \cdot m^{-3}]$

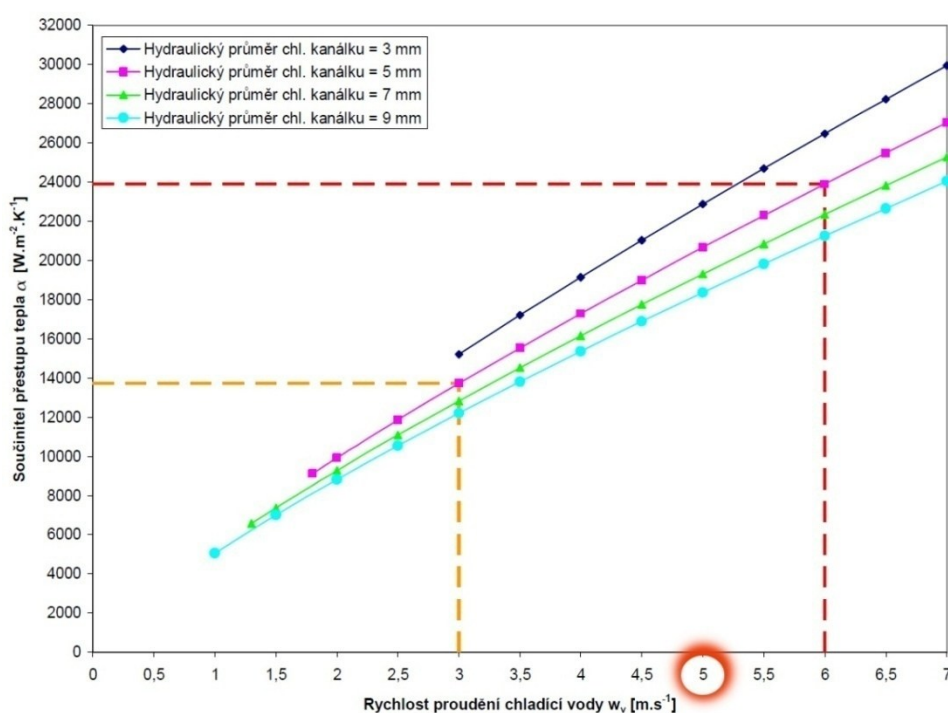
Průřez chladicího kanálu

$$S = \pi \cdot r^2 \quad [m^2] \quad (3)$$

r poloměr kanálu [m]

Volba průměru chladicího kanálu a rychlosti proudící vody

Rychlost chladicího média volím $w = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a průměr kanálu $d = 6 \text{ mm}$ na základě podobnosti s řešením krystalizátoru v lit. [9] kde autor využívá kanál průměru 5 mm a rychlost chladicí vody $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



Obr.15 Stanovení rozsahu součinitele přestupu tepla α_v v chladícím kanálku krystalizátoru v závislosti na rychlosti proudění vody w_w [9]

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

Pro výpočet vycházím z části bilanční rovnice (1) do které dosadím rovnici (2) a (3)

$$P = w \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta t_{H_2O} \quad [W] \quad (4)$$

A následnou úpravou vyjádřím teplotu Δt_{H_2O}

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{P}{w \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \rho_{H_2O} \cdot c p_{H_2O}} \quad [^{\circ}C] \quad (5)$$

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{13800}{5 \cdot \pi \cdot 0,003^2 \cdot 4181,8 \cdot 998} = 23^{\circ}C \quad (6)$$

Výpočet teploty chladicí vody na výstupu

$$\Delta t_{H_2O} = \Delta t_{H_2O_{\text{vystup}}} - \Delta t_{H_2O_{\text{vstup}}} \quad (7)$$

Úpravou vzorce vyjádřím teplotu, vody která bude vystupovat

$$\Delta t_{H_2O_{\text{vystup}}} = \Delta t_{H_2O} + \Delta t_{H_2O_{\text{vstup}}} \quad (8)$$

$$\Delta t_{H_2O_{\text{vystup}}} = 23 + 15 = 38^{\circ}C = 311K \quad (9)$$

Hydraulický průměr chladicího kanálku pánve

Pro potrubí kruhového průměru zcela zaplněné tekutinou dostáváme rovnost hydraulického a geometrického průměru. [10]

$$d_h = \frac{4 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \pi \cdot d} = d \quad [m] \quad (10)$$

$$d_h = \frac{4 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \pi \cdot d} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,006^2}{2 \cdot \pi \cdot 0,006} = 0,006m = 6mm \quad (11)$$

d_h hydraulický průměr chladicího kanálku pánve [m]

d průměr kanálu [m]

Reynoldsovo kritérium pro proudění vody v chladicím kanálku pánve

Musí platit podmínka $Re_{krit} > 2300 \Rightarrow$ turbulentní proudění [10]

$Re \geq Re_{krit}$ při splnění této podmínky jde o turbulentní proudění

$$Re = \frac{w \cdot d_h \cdot \rho_{v20}}{\eta_{v20}} = \frac{5,0006 \cdot 998}{10,046 \cdot 10^{-4}} = 29802 \Rightarrow \text{turbulentní proudění [-]} \quad (12)$$

Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
w	rychlost proudění vody	[m.s ⁻¹]
ρ_{v20}	měrná hmotnost vody při teplotě dle tab.5	[kg.m ⁻³]
η_{v20}	dynamická viskozita vody při teplotě dle tab.5	[Pas]

Prandtlovo kritérium [10]

$$Pr = \frac{\nu_{v40}}{\alpha_{v40}} = \frac{6,59 \cdot 10^{-7}}{1,5 \cdot 10^{-7}} = 4,36 \quad [-] \quad (13)$$

Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
ν_{v40}	kinematická viskozita vody při teplotě dle tab.5	[m ² s ⁻¹]
α_{v40}	součinitel teplotní vodivosti vody při teplotě dle tab.5	[m ² s ⁻¹]

Výpočet součinitele přestupu tepla mezi povrchem kanálů a chladicí vody

Výpočet dle literatury [8]

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad [-] \quad (14)$$

Nu	Nusseltovo kritérium	[-]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
Pr	Prandtlovo kritérium	[-]

$$Nu = \frac{\alpha_v \cdot d_h}{\lambda_{v40}} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (15)$$

$$\alpha_v = \frac{\lambda_{v40} \cdot 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{d_h} \quad (16)$$

$$\alpha_v = \frac{0,627 \cdot (0,023 \cdot 29802^{0,8} \cdot 4,36^{0,4})}{0,006} \quad (17)$$

$$\alpha_v = 16445 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Určení teplosměnné plochy

Rozdíl teplot mezi vnitřní a vnější stranou kanálů vzhledem ke zdroji tepla (plocha pánve ze strany tavné lázně) je zohledněn koeficientem 2/3 [9]

$$P_v = \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot S_k \Delta T_{stř} \quad (18)$$

S_k plocha kanálu [m²]
 $\Delta T_{stř}$ střední logaritmický rozdíl teplot (voda-povrch kanálu) [K]

Střední logaritmický rozdíl teplot [9]

$$T_{stř} = \frac{(T_{s2} - T_{v1}) - (T_{s2} - T_{v2})}{\ln \frac{(T_{s2} - T_{v1})}{(T_{s2} - T_{v2})}} \quad [K] \quad (19)$$

T_{s2} teplota stěny v chladícím kanále [K]

V návrhu je uvažováno s teplotou stěny kanálu $T_{s2}=423\text{K}$. Aby nedošlo k varu vody při dotyku se stěnami chladících kanálů, musí být tlak chladicí vody $p=0,6\text{MPa}$ [11]

Zvolená hodnota T_{s2} dle literatury odpovídá výsledku modelování MKP viz. příloha.

Úpravou vztahu (18) vznikne vztah pro velikost teplosměnné plochy:

$$S_k = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_v}{\alpha \cdot \Delta T_{stř}} \quad [\text{m}^2] \quad (20)$$

Dosazení do vzorce (16)

$$T_{stř} = \frac{(423 - 288) - (423 - 311)}{\ln \frac{(423 - 288)}{(423 - 311)}} \quad [K] \quad (21)$$

$$T_{stř} = 123,1\text{K}$$

Dosazení do vzorce (20)

$$S_k = \frac{3}{2} \cdot \frac{13800}{16445 \cdot 123,1} = 0,01023\text{m}^2 \quad (22)$$

Kontrola velikosti teplosměnných ploch

Délka kanálu pánve $l_k = 0,7m$

Délka kanálu byla odečtena z konstrukčního návrhu pánve. V příloze jde o dokument č. KOC0029-00-01

$$S_{kAs} = l_k \cdot \pi \cdot d_k \quad [m^2] \quad (23)$$

S_{kAs} skutečná teplosměnná plocha kanálů dna pánve $[m^2]$

$$S_{kAs} = 0,7 \cdot \pi \cdot 0,006 = 0,0132m^2 \quad (24)$$

$$S_{kAs} > S_k \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Výpočet tlakových ztrát třením [12]

$$\Delta p_{ztr} = \lambda \cdot \frac{L_k}{d_h} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \cdot k \quad [Pa] \quad (25)$$

L_k délka kanálu v rukojeti a pánvi $[m]$

k koeficient drsnosti pro Cu potrubí dle literatury [12] 0,003 $[mm]$

λ třecí součinitel $[-]$

Δp_{ztr} tlakové ztráty třením $[Pa]$

L_k odměřeno z konstrukčního návrhu (délka kanálu v rukojeti a pánvi) 1,652m

Pro $Re < 8 \cdot 10^4$ lze využít vzorec podle Blasia [12]

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} \quad (26)$$

$$\lambda = 0,3164 \cdot 29802^{-0,25} = 0,024 \quad [-] \quad (27)$$

Dosazení výsledku ze vzorce (27) do rovnice (25)

$$\Delta p_{ztr} = 0,3164 \cdot \frac{1,652}{0,006} \cdot \frac{5^2 \cdot 998}{2} \cdot 0,003 = 3260Pa = 0,03MPa \quad (28)$$

9. VOLBA POHONU

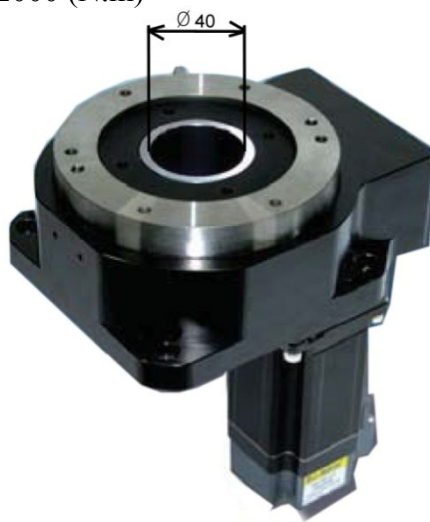
Pro naklápění pánve volím aktuátor s dutou hřídelí. Motor vyrábí firma Fastech a jde o modelovou řadu Ezi-Actuator HG130-10-V-ST. Rozměry motoru viz. příloha.

přípustný moment 14 (N.m)

převodový poměr 1:10

přípustné axiální zatížení 2000 (N.m)

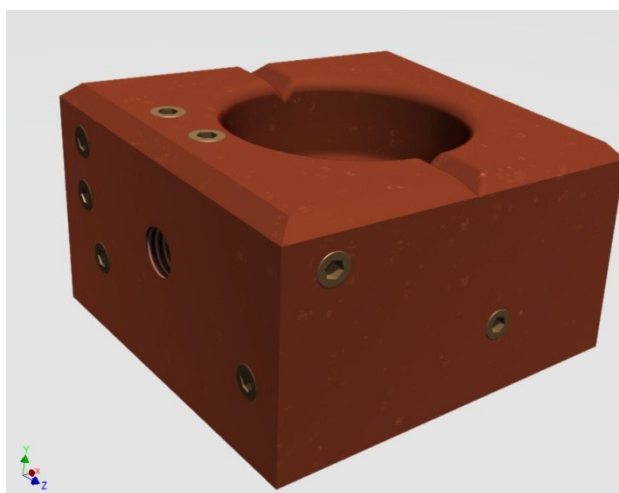
vnitřní $\varnothing 40\text{mm}$



Obr.16 pohon HG130-10-V-ST [10]

10.MODELY 3D

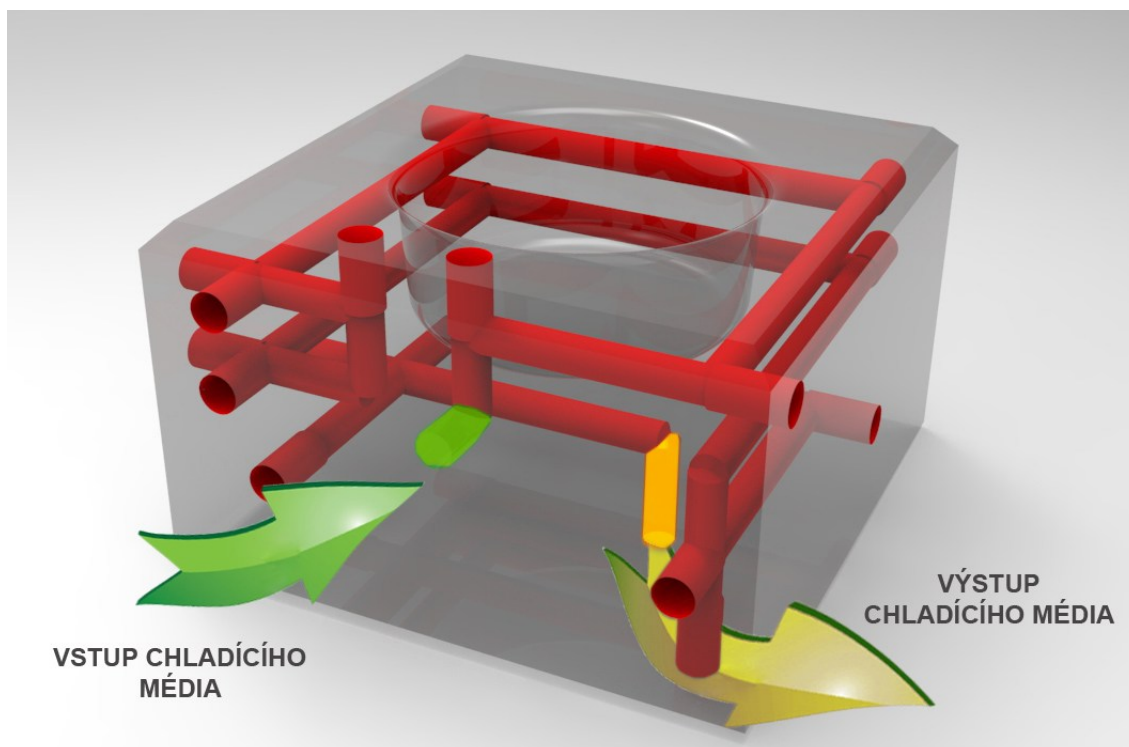
10.1 Model měděné pánve



Obr.17 Model měděné pánve

Na obr.17. je 3D model měděné pánve s našroubovanými zátkami, které zabraňují úniku chladicího média z vrtaných otvorů.

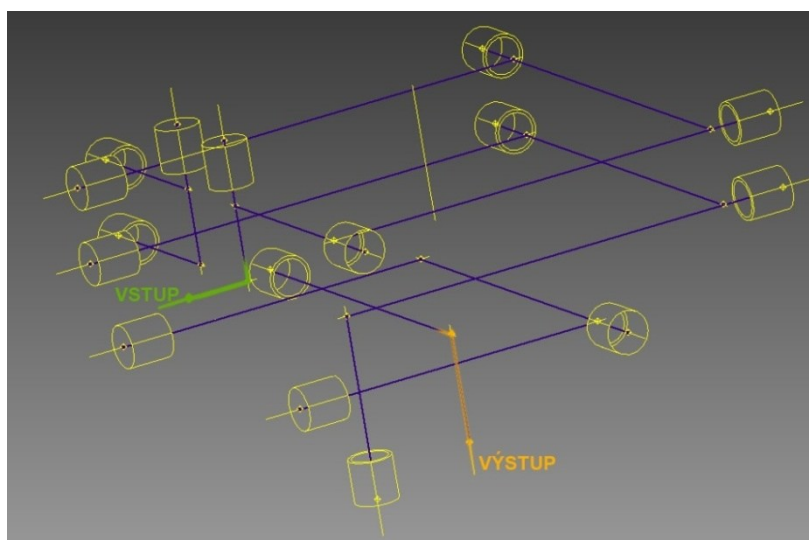
10.2 Model vrtaných kanálů



Obr.18 Model chladícího systému vrtaných kanálů

Na obr.18. je červenou barvou znázorněn systém chladících kanálů. Do chladícího okruhu bude voda vstupovat v místě zelené šipky z rukojeti, na které je pánev letmo uchycena. Postupně projde systémem vrtaných děr a ve spodní části pánve, kde je umístěna žlutá šipka se bude ohřátá voda vracet do rukojeti.

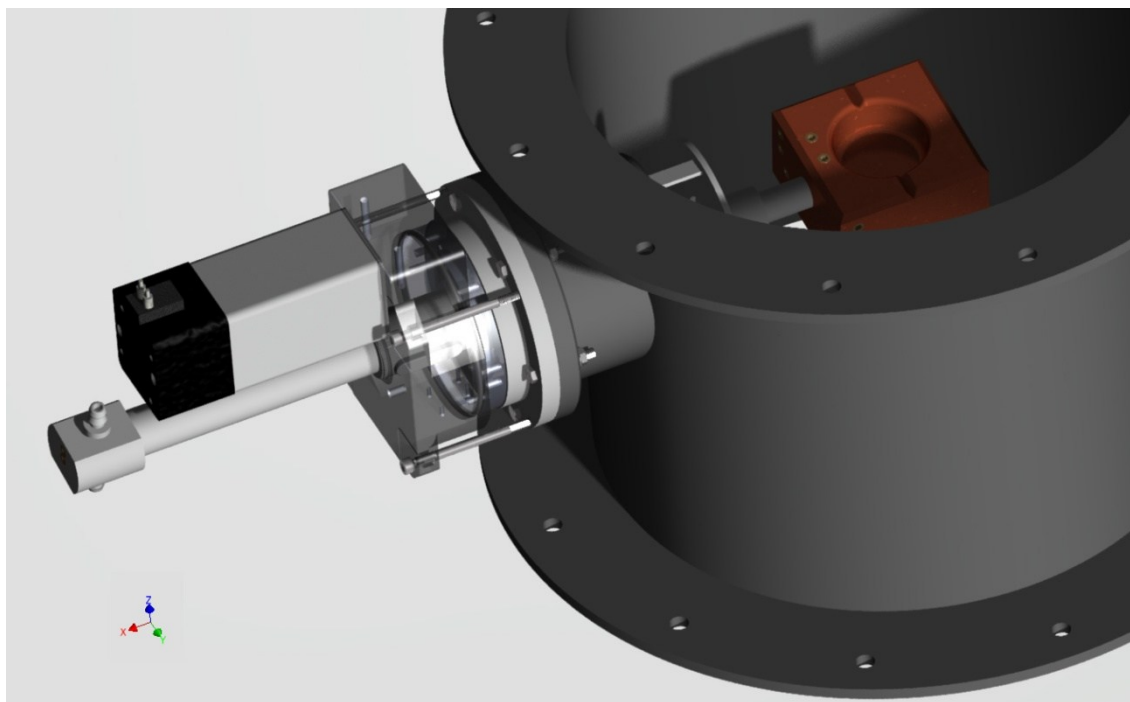
10.3 Model trajektorie kanálu se zátkami



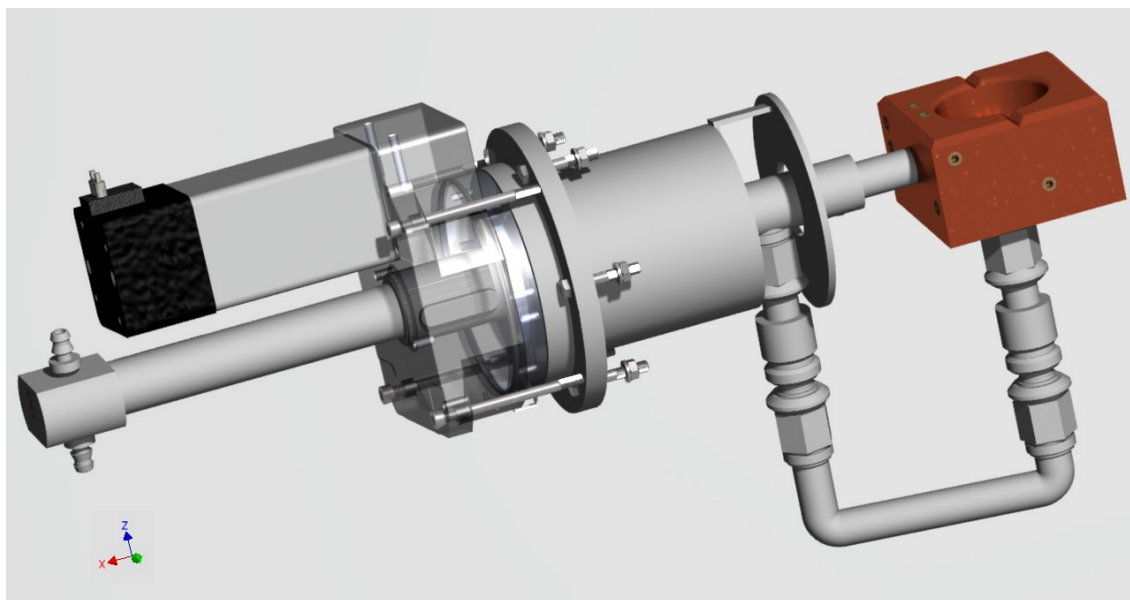
Obr.19 Model trajektorie potrubí se zátkami

Na obr.19 je modrou barvou znázorněna trajektorie vrtaných kanálů. Žlutou barvou jsou označeny díry se závkty, kde budou umístěny zátky. Zelenou barvou je označen vstup chladícího média a oranžovou barvou výstup.

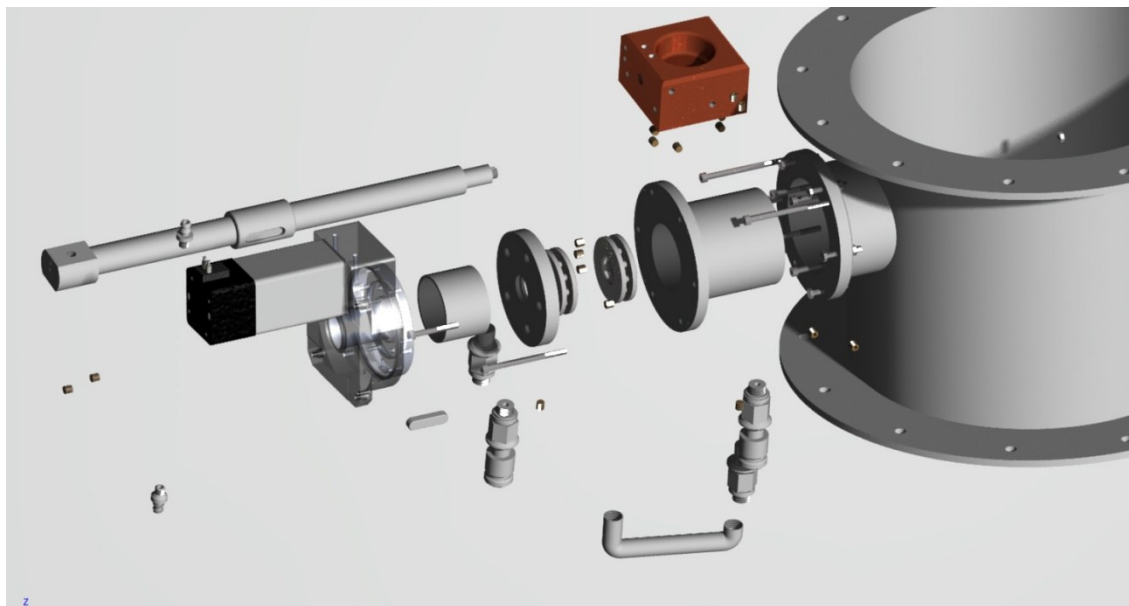
11. ČISTÁ STAVEBNÍ STRUKTURA



Obr.19 Čistá stavební struktura



Obr.20 Čistá stavební struktura bez válcové stěny



Obr.21 Zobrazení vnitřních komponent

12. TECHNICKÝ POPIS PRÁCE NAVRŽENÉHO TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Následující čísla v závorkách jsou totožné s číslováním komponent ve výkresu sestavy č. KOC0029-01

12.1 Pánev

Hlavní část zařízení je chlazená měděná pánev (1). Pánev je čtyřhranné těleso 100x60mm s kruhovým otvorem 60mm a hloubky 25mm v horní části.

Chlazení pánve umožňuje proudící chladicí voda, která protéká vrtanými kanály průměru 6mm. Chladicí kanály jsou rozloženy ve třech vodorovných rovinách nad sebou. Díry po vrtání jsou zaslepeny našroubovanými zátkami (26).

Funkční stěna pánve je vyrobena pod úhlem 4°. Mezi stěnou a dnem je zhotoven rádius. Toto konstrukční řešení umožňuje jednodušší odstranění ztuhlé taveniny.

12.2 Přívod chladícího média

Vstup vody do pánve se uskutečňuje pomocí vrtané rukojeti (2), která je na pánvi našroubována a přivádí do pánve chladicí médium. Voda dále z rukojeti postupuje systémem kanálů pánve a ohřátá odchází spodním potrubím zpět do rukojeti

12.3 Uložení ve stěně pece

Rukojet', která má letmé uchycení prochází stěnou pece kde je uložena ve valivých ložiscích (18). Je zde také umístěn těsnící kroužek (19) z důvodu nutné hermetizace. Z vnitřní strany je místo uložení chráněno krytem (4) proti rozstříku taveného materiálu a také částečně pohlcuje radiální složky. U ložisek není proveden kontrolní výpočet z důvodu zanedbatelného zatížení. Ložiska jsou zatížena pouze váhou pánve rukojeti a taveniny. Typ ložiska byl zvolen na základě průměru rukojeti.

12.4 Naklápění pánve

Naklápění pánve pro vylití taveniny je zajištěno servopohonem (13), který je opatřen dutou hřídelí a tím je zajištěn průchod rukojeti s přívodem a odvodem vody. Servopohon umožňuje přesné natočení o požadovaný úhel, aniž by bylo nutné naklápěcí proces vizuálně řídit. Samotný servopohon je řízen průmyslovým PLC automatem, který umožňuje pomocí předprogramovaných tlačítek manuálním stiskem nebo automaticky pánev naklápět o požadovaný úhel. PLC je možno dále využít pro kontrolu teploty apod.

13. ZÁVĚR

Zadáním mé bakalářské práce bylo navrhnout chlazenou tavící pánev pro plazmové tavení neželezných kovů. Pozornost tak byla kladena na způsob chlazení pánve. Ve styku pánve s taveninou nesmí teplota překročit 300°C z důvodu difuze mědi do taveného materiálu.

Systém vrtaných kanálů byl zvolen a navržen s ohledem na jednoduchost výroby, což je předpokladem nízkých výrobních nákladů. Zvolený koncept chladicího systému zajistí vyšší těsnost. Zařízení splňuje požadavek na výměnu pánve v případě opotřebení nebo zničení.

Bakalářská práce je součástí vyššího konstrukčního celku. Z důvodu poměrně extrémních teplotních a tepelných pracovních podmínek, pro které je tavící pánev určena jsem se pokusil o modelování teplotních polí pomocí SW. MKP. Přesné namodelování teplotních polí a celková simulace teplotního zatížení je problematika, podstatně složitější a chtěl bych se jí následující období věnovat.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Bláha, A.: Technika plazmy a elektrických výbojov. Bratislava, SNTL 1966
- [2] DEMBOVSKÝ, Vladimír. Plazmová metalurgie
- [3] KADLEC, Z. Termomechanika 12.června 2001
- [4], Dembovský V.: Laboratorní plazmová pec pro přípravu kovů o vysokém bodu tání a vysoké čistotě. Hutnické listy, 1970, č. 4, s. 266 - 268.
- [5] HUBKA, V. *Konstrukční nauka: Obecný model postupu při konstruování*. Zürich: Heurista, 1995. 118 s. ISBN 80-90 1135-0-8.
- [6] Ústně sdělil pan Ing. Zdeněk Noga, CSc
- [7] *Sdílení tepla a proudění*. [s.l.] : [s.n.], 1998. 180 s. ISBN 80-7078-549-7.
- [8] JABLONSKÝ, David. *Konstrukční parametry plazmových pecí*. Ostrava, 2010. ISBN 2640225607; G 340.237. Autoreferát disertační práce. VŠB-TU-Ostrava.
- [9] ŠIMÍK, Lubomír. *Refining Hearth*. Ostrava, 2006. Bakalářská práce. VŠB - TU Ostrava.
- [10] PŘÍHODA, Miroslav a Miroslav RÉDR. *Sdílení tepla a proudění*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1748-4.
- [11] KRÁČMAR, Lukáš . Diplomová práce: Laboratorní pec pro ohřev Ti slitin. VŠB-TU Ostrava, 2005. Vedoucí Ing. NOGA, Zdeněk
- [12] DRÁBKOVÁ, Sylva a Milada KOZUBKOVÁ. *Cvičení z mechaniky tekutin*. Ostrava, 2004.
- [13] RAŽNJEVIČ, K. *Termodynamické tabulky*. 1975. vyd. Bratislava: Alfa, 1975. ISBN 193091.

Internetové zdroje

- [12] WIKIPEDIA: Voda. [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Voda>
- [13] Servo drive: Servo-Drive Rotary and Linear Drives and Technologies. [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://www.servo-drive.com/momentove_mototory_prime_bezprevodove_pohony.php

- [14] WIKIPEDIE: Chladicí médium. [online]. 20. 3. 2013 v 13:50 [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Chlad%C3%ADc%C3%AD_m%C3%A9dium
- [15] WIKIPEDIE - Titan [online]. [cit. 2011-10-23] Dostupný z www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Titan_%28prvek%29
- [16] WIKIPEDIE - Měď [online]. [cit. 2011-10-23] Dostupný z www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9B%C4%8F>
- [17] HYPEL: Průmyslová elektronika. [online]. [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: http://eshop.hypel.eu/index.php?main_page=index&cPath=1_4

Zdroje obrázků

- [1] <http://www.servodrive.com/>
- [2] <http://www.hypel.cz/index.php>
- [3] KULHÁNEK, Jakub. *Chladicí sekce laboratorní plazmové pece* [online]. Ostrava : FS, 2011. 53 s. Bakalářská práce. VŠB. Dostupné z WWW: <<http://dspace.vsb.cz/handle/10084/88403>>
- [4] http://www.ams.tuke.sk/data/ams_online/2005/number3/mag02/mag02.pdf
- [5] NOGA, Z. JABLONSKÝ, D.: Návrh laboratorního krystalizátoru pro kontislitky Ti-Ni slitin. In *V Miedzynarodowa Sesja Naukowa, Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii i inżynierii materiałowej*, Politechnika Czestochowska Polska, Wydział inżynierii procesowej, materiałowej i fizyki stosowanej, 2004. s. 503 – 506, ISBN 83–87745–37–5.
- [6] Arc Melting Facility. *NASA* [online]. June 20, 2012 [cit. 2012-12-17]. Dostupné z: http://www.grc.nasa.gov/WWW/StructuresMaterials/AdvMet/facilities/arc_melting.html
- [7] Concast. [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné z: <http://www.concast.com/production.php>
- [8] *Cold crucible for smelting and crystallising inorganic non metallic compounds* [patent]. EP 0128600 B1. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/EP0128600B1?cl=en&dq=Cold+Crucible&hl=cs&sa=X&ei=kGVPUd6FPOam4gTopoHYBQ&ved=0CD0Q6AEwAg>
- [9] JABLONSKÝ, David. *Konstrukční parametry plazmových pecí*. Ostrava, 2010. ISBN 2640225607; G 340.237. Autoreferát disertační práce. VŠB-TU-Ostrava.

14. PŘÍLOHY

14.1 Výsledky metody MKP pomocí programu Ansys 14.0

Simulace teplotního zatížení byla provedena v SW: ANSYS 14.0. Kvůli složitosti vrtaných kanálů jsem vytvořil zjednodušený model, ve kterém jsem nahradil vrtanou soustavu kanálů třemi prstenci kanálů. Byly zvoleny tyto okrajové podmínky:

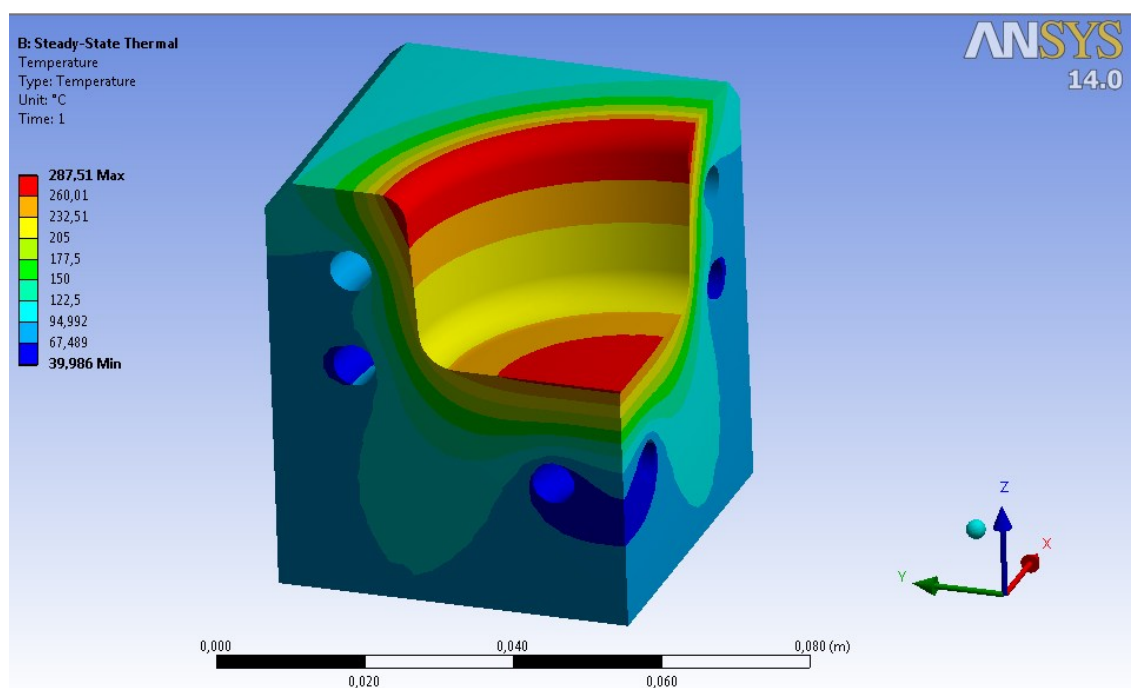
Tepelný výkon - 14000W

Materiál tělesa – Cu

Součinitel přestupu tepla mezi chladicí kapalinou a stěnou kanálů - 16445 W/(m².K)

Chladicí médium – voda

Teplota vody – 16°C

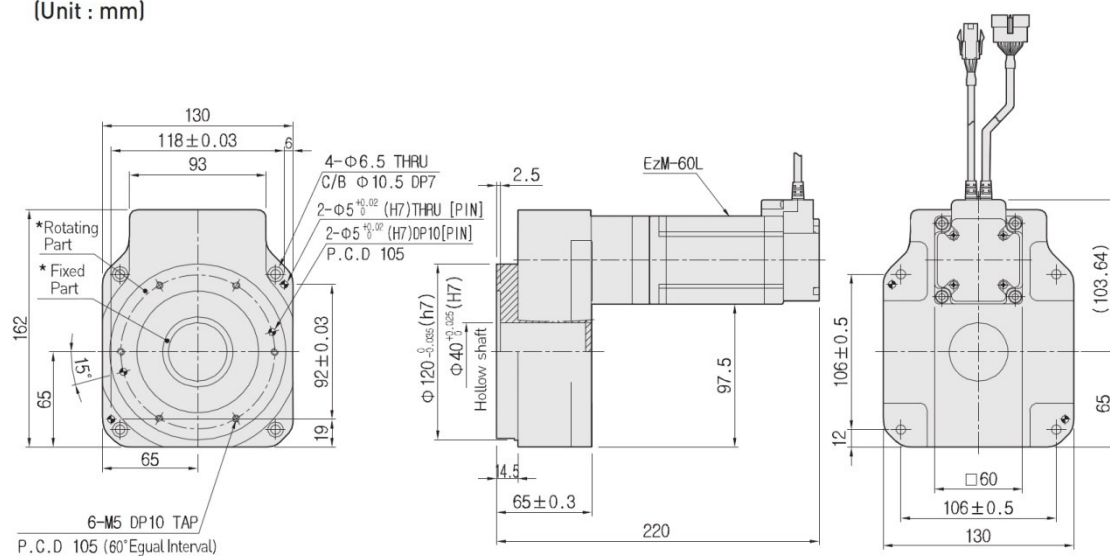


Obr.22 Simulace teplotního zatížení pánve

Ze simulace je patrné, že nejvyšší teplota bude v místě rádiusu a na dně pánve. Nejvyšší teplota dosahuje 288°C z toho plyne splnění požadavku na maximální teplotu 300°C.

14.2 Rozměry motoru

(Unit : mm)



Obr.22 rozměry pohonu HG130-10-V-ST

15. TABULKY

15.1 Tepelně technické parametry vody

voda						
T [°C]	cp [J.K.kg ⁻¹]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	ρ [m ³ .kg ⁻¹]	η [Pa.s]	ν [m ² .s ⁻¹]	α _v [m ² .s ⁻¹]
20	4180,9	0,580	998	10,046.10 ⁻⁴	1,01.10 ⁻⁶	1,4.10 ⁻⁷
40	4178,4	0,627	992,22	0,654.10 ⁻³	6,59.10 ⁻⁷	1,5.10 ⁻⁷

Tab.5 tepelně technické parametry dle literatury [13]

15.2 Tepelně technické parametry mědi

voda					
T [°C]	α [10 ⁻⁶ .K]	c_p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	λ [W.m ⁻¹ K ⁻¹]	E [10 ⁵ .MPa]	ρ kg.m ⁻³]
20	4180,9	0,580	998	10,046.10 ⁻⁴	1,01.10 ⁻⁶
40	4178,4	0,627	992,22	0,654.10 ⁻³	6,59.10 ⁻⁷

Tab.6 Tepelně technické parametry mědi [13]

15.3 Výkresová dokumentace

Výkres sestavy - uložení pánve

č.sestavy KOC0029-00-01

Výrobní výkres – pánev (1)

č.dokumentu KOC0029-01

Výrobní výkres - rukojeť (2)

č.dokumentu KOC0029-02